

УДК 543.51; 504.054; 569.745

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ЖИРОВОЙ ТКАНИ КАСПИЙСКОГО ТЮЛЕНЯ (*PUSA CASPICA* GMELIN, 1788) МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ТОЧНЫХ МАСС

© 2024 г. А. А. Шелепчиков^{1, 2}, А. Д. Кудрявцева¹, Е. С. Бродский¹,
Е. Я. Мир-Кадырова¹, М. А. Соловьева¹, Ф. В. Климов³, академик РАН В. В. Рожнов¹

Поступило 17.04.2024 г.

После доработки 02.05.2024 г.

Принято к публикации 05.05.2024 г.

Показана возможность комплексной характеристики загрязнения тканей живых организмов стойкими органическими загрязнителями в процессе одного анализа путем сочетания ГХ и масс-спектрометрии точных масс. Изучены образцы жировой ткани двух каспийских тюленей (*Pusa caspica* Gmelin, 1788), найденных в 2020 г. мертвыми на берегу Каспийского моря. Основными загрязнителями каспийского тюленя являются хлорорганические пестициды, в первую очередь, ДДТ и ГХЦГ, а также ПХБ. Распределение метаболитов свидетельствует об отсутствии недавнего применения пестицидов. Содержание ПХБ сравнительно велико, но, как и для пестицидов, находится на нижней границе диапазона величин, определявшихся ранее. Хлорданы, полихлорированные нафталины и полибромдифениловые эфиры обнаружены в количествах, не позволяющих считать их основными загрязнителями каспийского тюленя. Содержание загрязнителей находится ниже значений, при которых можно ожидать явное влияние на состояние здоровья тюленей. Метод масс-спектрометрии точных масс показал себя удобным инструментом для выполнения одновременно как целевого, так и обзорного анализа широкого круга органических загрязнителей в процессе одного эксперимента.

Ключевые слова: каспийский тюлень, *Pusa caspica*, органические загрязнители, ГХ/МС, масс-спектрометрия точных масс

DOI: 10.31857/S2686738924050028

Накопление антропогенных загрязнителей в крупных внутренних водоемах создает проблемы для рыболовства и представляет угрозу местным видам диких животных. Наиболее известны проблемы загрязнения Балтийского моря, окруженного промышленно развитыми европейскими странами, но эта проблема не менее актуальна и для Каспийского моря [1, 2]. Основным источником загрязнения внутренних водоемов являются стоки прибрежных городов и предприятий, исторически имевшие

малую степень очистки, а также впадающие реки. В Каспийское море впадает Волга — одна из крупнейших рек на Земле, бассейн которой занимает треть европейской части России, на берегах которой располагалось множество промышленных предприятий, включая заводы Химпрома, производившие обширный перечень опасных веществ [3]. Кроме того, каспийский бассейн является важным нефтегазовым регионом с неизбежными экологическими проблемами [4].

Обитающий в Каспийском море единственный вид млекопитающих, каспийский тюлень (*Pusa caspica* Gmelin, 1788), является его эндемиком. В холодное время года он концентрируется в северной части моря, где на льду приносит потомство, а в безледный период совершает миграции по всему Каспию. Этот вид является конечным звеном многих пищевых цепей экосистем Каспийского моря. На численность тюленей влияют разные факторы, в том числе эпидемии и выделяющиеся в результате естественных сейсмических процессов

¹Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Всероссийский государственный центр качества
и стандартизации лекарственных средств для животных
и кормов (ВГНКИ), Москва, Россия

³Казахстанское Агентство Прикладной Экологии (ТОО
«КАПЭ»), Алма-Ата, Казахстан

E-mail: rozhnov-v-2015@yandex.ru

E-mail: efbr@mail.ru

ядовитые газы [5–7], но, очевидно, хозяйственная деятельность человека, ведущая к загрязнению окружающей среды, не может не быть дополнительным фактором риска. Поэтому мониторинг загрязнения необходим для сохранения популяции диких животных и выявления причин их гибели. При этом необходимо понимать, что только сравнительно небольшая часть органических загрязнителей способна накапливаться в живых организмах, передаваясь по пищевым цепям, остальные достаточно быстро метаболизируют или выводятся из организма, присутствуя в некой квазиравновесной концентрации при хронической экспозиции.

Обычно при мониторинге или обследовании территории целью является определение набора известных, наиболее вероятных или выявленных при предварительном исследовании загрязнителей, а также обнаружение новых. Это прежде всего стойкие органические загрязнители (СОЗ) – соединения, устойчивые к разложению и способные накапливаться в организме. К ним относятся хлорорганические пестициды, ПХДД/Ф, ПХБ и др. Основными загрязнителями тканей каспийских тюленей, помимо нефтепродуктов, являются ДДТ, ГХЦГ, ПХБ, обнаруживались также и другие пестициды из числа стойких органических загрязнителей, а также ГХБ и хлорнафталины [1, 8–10]. Поскольку целевые вещества имеют разную природу, разные концентрации и разные сигналы отклика, для их определения, как правило, требуется применение нескольких различных способов пробоподготовки, методов и режимов анализа. Однако при этом значительно больший массив веществ может оставаться вне поля зрения из-за недостаточной чувствительности и селективности методов ГХ/МС обзорного анализа с регистрацией полного масс-спектра. Обзорный анализ для обнаружения нецелевых или неизвестных веществ обычно выполняется путем интерпретации масс-спектров разделенных хроматографических пиков методами библиотечного поиска, или экспертного анализа, или построением селективных масс-хроматограмм по отдельным ионам или группам специфичных ионов [11].

В настоящее время с развитием приборостроения и возможностью реализации в рутинном анализе высокоселективных методов, таких как масс-спектрометрия высокого разрешения (МСВР), тандемная масс-спектрометрия (МС/МС), позволяющих выделять из сложных смесей большой набор индивидуальных компонентов, появилась возможность как резкого увеличения числа одновременно определяемых заданных веществ, так и проведения обзорного анализа для поиска нецелевых или неизвестных соединений. Эти новые возможности позволяют, во-первых, одновременно определять большое число компонентов, во-вторых, совместить такие разные методы анализа

как целевой и обзорный, в-третьих, обеспечить высокую чувствительность, необходимую для определения некоторых компонентов, в частности, СОЗ. Высокое разрешение снимает ограничения на наличие различных веществ – аналитов и стандартов – с одной и той же номинальной массой [12]. Высокая чувствительность позволяет значительно уменьшить навеску пробы, при этом сокращается как количество растворителей, так и количество балластных и мешающих соединений, инжестируемых в колонку.

Одним из наиболее подходящих приборов для такого анализа является сочетание ГХ с орбитальной ионной ловушкой Orbitrap. Этот прибор обладает выдающимися аналитическими характеристиками: возможность сканирования полного масс-спектра в широком интервале массовых чисел при сверхвысоком разрешении (100 000–1 000 000), высокой чувствительности, относительно широком динамическом диапазоне (до 4 порядков) и высокой точности измерения масс ионов (1–10 ppm). Метод анализа сложных смесей на этом приборе, когда каждому иону на основании точно измеренной массы может быть поставлена в соответствие одна эмпирическая формула, получил название HRAM (High Resolution Accurate Mass – масс-спектрометрия точных масс) [13]. Применение такого прибора для анализа антропогенных загрязнителей позволяет в одном опыте определять большой набор целевых соединений – пестицидов, хлорорганических соединений, таких как ПХБ, полихлорнафталины, хлорбензолы, хлорфенолы, а также ПАУ, пластификаторов и др., а также осуществлять обзорный анализ по селективным ионным масс-хроматограммам по точным массам ионов и дефектам масс.

Это многообещающий метод мониторинга загрязнений на высших ступенях трофической цепи, когда требуется оценить присутствие разнообразных, не всегда известных заранее органических загрязнителей разной природы в широком интервале концентраций.

Таким образом, цель работы – показать возможность наиболее полной комплексной характеристики загрязнения тканей живых организмов органическими загрязнителями на примере жировой ткани каспийского тюленя в процессе одного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Место сбора материала. В данной работе мы изучили образцы жировой ткани двух каспийских тюленей (*Pusa capsica* Gmelin, 1788), найденных мертвыми на берегу Каспийского моря: образец PC.PR-11/20-15D (SF-1) – найден 10.11.2020 на участке побережья между п. Форт-Шевченко

и п. Баутино (Республика Казахстан) и образец РС.MZ-10/20-01D (SF-2), найденный 11.04.2020 на о. Малый Жемчужный (Российская Федерация),

Аналитическая часть. К пробе около 0.5 г жировой ткани добавляли смесь ^{13}C изотопномеченных внутренних стандартов (ES-5465-A-5X, Cambridge Isotop Laboratories), содержащих расширенный набор пестицидов из числа СОЗ, а также дейтерированные стандарты: D_6 -дихлорвос, D_{14} -трифлуралин, D_{10} -диазинон, D_{10} -малатион, D_{10} -паратион и D_5 -пентадиметанталин, и экстрагировали интенсивным встряхиванием с 8 мл ацетонитрила с добавлением 1 г смеси безводного сульфата магния и ацетата натрия (4:1) в герметичном флаконе вместимостью 12 мл в течение 30 мин. Полученную смесь центрифугировали при 2000 об/мин, экстракт отделяли и упаривали до суха на роторном испарителе. Затем растворяли в 0.5 мл гексана и очищали на картридже SupelcleanTM EZ-POP NP (Supelco), для чего сорбент кондиционировали 10 мл ацетона, удаляли ацетон воздухом, наносили пробу, дав ей полностью впитаться, и элюировали 15 мл ацетонитрила. Очищенный экстракт концентрировали до ~20 мкл и анализировали на хромато-масс-спектрометре Thermo Q Exactive GC, диапазон регистрируемых масс 100–520, номинальное разрешение 120 000. Хроматографическое разделение проводили на колонке SGE HT-8 (25 м x 0.25 мм x 0.25 мкм). Температура инжектора 240 °С, ввод пробы в режиме без деления потока с началом продувки через 1 мин. Начальная температура термостата 100 °С, выдержка при этой температуре 1.5 мин, нагрев со скоростью 10 °С/мин до 140 °С, затем 5 °С/мин до 260 °С и 15 °С/мин до 280 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения хлорорганических пестицидов представлены в табл. 1.

Программа обработки данных предусматривала определение по временам удерживания и характеристическим ионам стойких хлорорганических загрязнителей (СОЗ) из перечня Стокгольмской конвенции (ПХДД/ПХДФ, ПХБ, ДДТ, ГХЦГ и др.). Кроме того, производился целевой поиск по временам удерживания и характеристическим ионам ряда пестицидов и инсектицидов, не входящих в группу СОЗ: 2,4-динитротолуола, 2,6-динитротолуола, N,N-диэтилметилбензамида, алахлора, аметрина, ацетохлора, вернолата, гексахлорциклопентадиена, ионола, мевинфоса, метилпаратиона, прометрина, проризамида, тебутиурона, тетбутрина, тетрачлорвинфоса, триади-мефона, трибуфоса, фосфамидона, хлорбензилата, хлорпирифоса, хлорпрофама, хлорфенвинфоса, этридиазола и этхопрофоса.

Из перечисленных соединений были обнаружены следы ионола и хлорбензилата. Для обнаружения пестицидов типа «дринов» рассматривались масс-хроматограммы по характеристическим осколочным ионам m/z 236.8413, 238.8384 [11] (рис. 1). Масс-хроматограммы по этим ионам позволяют обнаружить и идентифицировать все соединения этой группы, содержание каждого из них затем определяется по масс-хроматограммам по наиболее представительным ионам в масс-спектрах.

Кроме указанных в табл. 1 веществ были найдены также полихлорированные бифенилы (ПХБ), два изомера трихлорбензола в соотношении 5:1, характерном для промышленных смесей ПХБ типа «Совтол», тетрабромбифениловый эфир (предположительно ТБДЭ-49) и три метоксизамещенных ТБДЭ, а также в одном из образцов следы трис(4-хлорфенил)метана.

Таблица 1. Концентрация пестицидов в жировой ткани каспийского тюленя (нг/г)

Пестициды	SF1	SF2
α -ГХЦГ	0.6	1.9
β -ГХЦГ	198	272
γ -ГХЦГ	<п.о.	<п.о.
δ -ГХЦГ	0.7	0.3
Пентахлорбензол	0.6	1.5
Гексахлорбензол (ГХБ)	4.2	6.0
о,п'-ДДЭ	<п.о.	<п.о.
п,п'-ДДЭ	1055	1007
о,п'-ДДД	<п.о.	<п.о.
п,п'-ДДД	<п.о.	<п.о.
о,п'-ДДТ	17.1	26.2
п,п'-ДДТ	88.7	112
Алдрин	<п.о.	<п.о.
Дилдрин	42.7	43.8
Изодрин	<п.о.	0.1
Эндрин	0.2	0.2
Гептахлор	<п.о.	<п.о.
Гептахлор эпоксид	7.7	8.4
транс-Хлордан	<п.о.	<п.о.
цис-Хлордан	1.4	1.1
Оксихлордан	14.0	17.0
транс-Нонахлор	21.8	12.2
цис-Нонахлор	3.7	1.7
Эндосульфат-I	<п.о.	<п.о.
Эндосульфат -II	<п.о.	<п.о.
Эндосульфат сульфат	<п.о.	<п.о.
Мирекс	0.8	0.6
Трис(4-хлорфенил)метан	0.01	<п.о.
Трис(4-хлорфенил)метанол	<п.о.	<п.о.

Примечание: п.о. — предел обнаружения

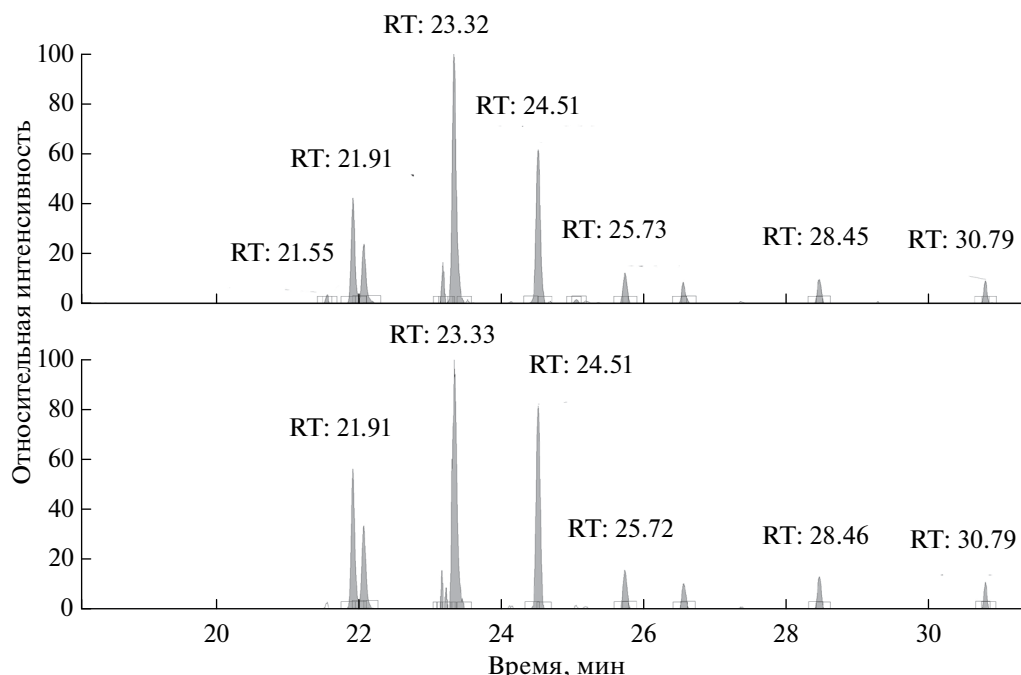


Рис. 1. Масс-хроматограммы «дринов» в жировой ткани тюленя SF-1 по ионам 236.84076 и 238.83781. RT — время удерживания.

Гидрокси- и метоксиметаболиты ПХБ в пробах не обнаружены. Не обнаружены также полихлорированные дибензо-*p*-диоксины и дибензофураны, хлорнафталины.

В целом, наблюдаемая картина характерна для хронической, вероятно, пищевой экспозиции. В каждой группе пестицидов доминируют соединения, являющиеся либо метаболитами, либо бионакапливаемой составляющей в исходном препарате. Так, из ДДТ/ДДД/ДДЭ, основных загрязнителей из группы пестицидов с суммарной концентрацией 1.5 и 1.1 мкг/г (рис. 2), основной вклад дает *p,p'*-ДДЭ (1.05 и 1.01 мкг/г), являющийся метаболитом *p,p'*-ДДТ, концентрация которого на порядок ниже (0.09 и 0.11 мкг/г). Доля *p,p'*-ДДЭ больше 0.6 свидетельствует об отсутствии недавнего применения ДДТ [14].

Ранее в тканях тюленей обнаруживались более высокие уровни ДДТ и метаболитов с более высоким вкладом *p,p'*-ДДТ. Так, в 1993 г. суммарное содержание ДДТ и метаболитов в каспийском тюлене составляло от 5.6 до 88 мкг/г при относительном содержании *p,p'*-ДДТ 25% [8], в 1996 г. — от 5.2 до 670 мкг/г липидов при вкладе ДДТ 8–27% [1], в 1998 и 1999 гг. — 0.78–43 мкг/г и 6.3–470 мкг/г липидов, соответственно, вклад ДДТ не превышал 20% [9]. По результатам исследований 2004–2006 гг. содержание ДДТ в печени и подкожном жире составляло 12.4 мкг/г и 19.9 мкг/г соответственно [4].

ДДТ обладает действием, подобным половому гормону 17 β -эстрадиолу. Наибольшую активность

имеет *o,p'*-ДДТ, фактически отсутствующий в пищевых цепях. В экспериментах на лабораторных животных уровни экспозиции, вызывающие значимый эффект на репродуктивную систему, составляли десятки мг/кг в день. Таким образом, нет прямых оснований считать, что эти вещества могли быть причиной гибели каспийских тюленей.

Второй по содержанию группой пестицидов после ДДТ является ГХЦГ. Суммарное содержание четырех его основных изомеров составляет 0.20 и 0.27 мкг/г, среди них преобладает β -изомер (> 99%), вклад α -ГХЦГ и δ -ГХЦГ составляет 0.3–0.7 и 0.1–0.4% соответственно, γ -изомер фактически отсутствует, что является типичным

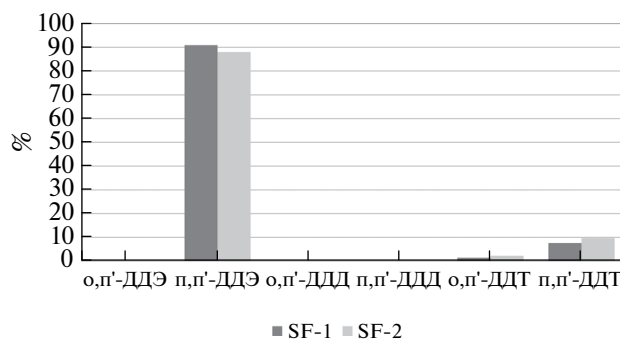


Рис. 2. Профиль соединений группы ДДТ в жире каспийского тюленя (% от суммарной концентрации группы).

распределением для биологических проб в силу того, что наиболее токсичный γ -изомер ГХЦГ быстро метаболизирует и выводится, а β -изомер имеет наибольший коэффициент бионакопления. Однако в литературе имеется упоминание о парадоксальном профиле ГХЦГ в тюленях на северо-западном атлантическом побережье США, где доля α -ГХЦГ достигала 80% от суммы всех изомеров [15]. Ранее сообщалось, что содержание ГХЦГ в тканях каспийского тюленя в 1993 г. составляло 1.0–1.3 мкг/г [8], в 1998 г. – 0.11–2.5 мкг/г ГХЦГ в жировой ткани, в 2000 г. – 0.69–9.9 мкг/г липидов [9], в 2004–2006 гг. – 0.74 и 0.94 мкг/г липидов [4].

Гексахлорбензол (ГХБ) содержится в количестве 4.3 и 5.9 нг/г. Обнаруживавшиеся ранее концентрации ГХБ составляли в 1993 г. 2.4–77 нг/г липидов [8], в 1998 г. 1.9–18 нг/г липидов и в 2000 г. 3.8–160 нг/г липидов [9].

Прочие пестициды из числа СОЗ представлены в виде метаболитов и бионакапливаемых примесей в агрохимикатах. Наибольшую концентрацию в исследованных пробах имеет дилдрин (метаболит алдрина), в меньших концентрациях присутствуют оксихлордан и транс-нонахлор (являющиеся метаболитом и примесью в хлордане) и гептахлорэпоксид (метаболит гептахлора). Все эти соединения эффективно передаются по пищевым цепям и часто обнаруживаются в биологических пробах, несмотря на то, что производство соответствующих препаратов давно запрещено. В бывшем СССР эти пестициды не получили широкого распространения, хотя, вероятно, имело место производство и применение опытных партий. Можно предположить, что они попадали в Каспийское море из других стран.

Суммарное содержание циклодиеновых пестицидов составило 84.6 и 91.6 нг/г. В 1998 г. оно составляло 65–1030 нг/г, в 2000 г. – 21–14000 нг/г липидов [9]. В частности, содержание гептахлорэпоксида было 0.5–170 нг/г липидов в 1998 г. и 63–2600 мкг/г липидов в 2000 г. [9]. Таким образом, как и в случае других обнаруженных загрязняющих веществ, можно говорить о постепенном снижении уровней экспозиции.

Суммарное содержание ПХБ в исследованных пробах составило 0.12–0.16 мкг/г липидов, что значительно меньше найденных ранее значений – 1.1–25.6 мкг/г липидов в 1996 г. [1], 0.95–28 мкг/г липидов в 1998 г. и 2.4–320 мкг/г липидов в 2000 г. [9]. ПХБ имеют распределение конгенеров, характерное для хронической экспозиции млекопитающих: по сравнению с исходным Совтолом наблюдается некоторый сдвиг в более тяжелую область (рис. 3).

Таким образом, метод масс-спектрометрии точных масс показал себя удобным инструментом для выполнения одновременно как целевого, так и обзорного анализа широкого круга органических загрязнителей в процессе одного эксперимента. Основными загрязнителями каспийского тюленя,

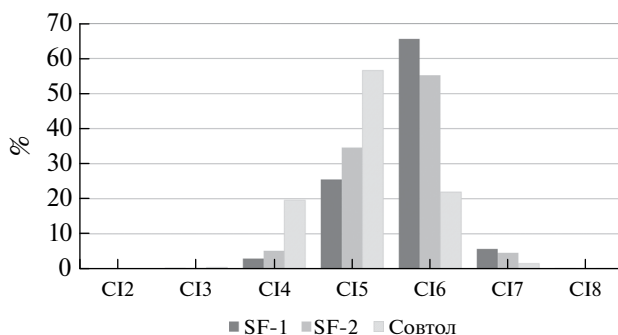


Рис. 3. Распределение ПХБ по степеням хлорирования в образцах жировой ткани тюленя и Совтола.

как отмечалось и в более ранних исследованиях, являются хлорорганические пестициды, в первую очередь, ДДТ и ГХЦГ, а также ПХБ. Распределение метаболитов свидетельствует об отсутствии недавнего применения пестицидов. Содержание ПХБ сравнительно велико, но, как и для пестицидов, находится на нижней границе диапазона величин, определявшихся ранее. Хлорданы, полихлорированные нафталины и полибромдифениловые эфиры обнаружены в количествах, не позволяющих считать их основными загрязнителями каспийского тюленя. Содержание загрязнителей находится ниже значений, при которых можно ожидать явное влияние на состояние здоровья тюленей.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках «Программы исследований каспийского тюленя в акватории Северного Каспия (2019-2023 гг.)» при финансовой поддержке North Caspian Operating Company N.V. и Казахстанского агентства прикладной экологии (ТОО «КАПЭ»). Авторы благодарят руководство вышеуказанных компаний.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ И СТАНДАРТОВ

Использованы ткани погибших животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

У авторов нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hall A.J., Duck C.D., Law R.J., et al. // Environmental Pollution. 1999. V. 106. No. 2. P. 203–212.

2. *Abbasian H.* // J. Ecol. Nat. Environ. 2012. V. 4. No. 9. P. 241–246.
3. *Revich B., Shelepchikov A.* // The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment. Dordrecht: Springer Netherlands. 2008, P. 113–126.
4. Мониторинг окружающей природной среды Северо-Восточной части Каспийского моря при освоении нефтяных месторождений (Результаты экологических исследований Аджип ККО 1993–2006 гг.). Алматы, 2014. 264 с.
5. *Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Рожнов В.В., и др.* // Труды ВНИРО. 2023. Т. 193. С. 82–100. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-82-100>.
6. *Рожнов В.В., Бизиков В.А., Магомедов М.-П.Д., и др.* // Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 87–109. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-187-87-109>.
7. *Kennedy S., Kuiken T., Jepson P.D., et al.* // Emerg. Infect. Dis. 2000. V. 6. No. 6. P. 637–639.
8. *Watanabe M., Tanabe S., Tatsukawa R., et al.* // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1999. V. 37. No. 3. P. 396–407.
9. *Kajiwara N., Niimi S., Watanabe M., et al.* // Environ. Pollut. 2002. V. 117. No. 3. P. 391–402.
10. *Kajiwara N., Watanabe M., Wilson S., et al.* // Environ. Pollut. 2008. V. 152. No. 2. P. 431–442.
11. *Шелепчиков А.А., Бродский Е.С.* // Масс-спектрометрия. 2014. Т. 11(1). С. 13–21.
12. *Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Жильников В.Г., и др.* // Масс-спектрометрия. 2008. Т. 5 (4). С. 245–258.
13. *Crutchfield C.A., Clarke W.* // Mass Spectrometry for the Clinical Laboratory. Chapter 12. 2017. P. 247–259. doi.org/10.1016/B978-0-12-800871-3.00012-2.
14. *Aguilar A.* // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1984. V. 41(6). P. 840–844. <https://doi.org/10.1139/f84-100>.
15. *Shaw S.D., Brenner D., Bourakovsky A., et al.* // Mar. Pollut. Bull. 2005. V. 50. No. 10. P. 1069–1084.

DETERMINATION OF ANTHROPOGENIC POLLUTANTS IN THE ADIPOSE TISSUE OF THE CASPIAN SEAL (*PUSA CASPICA* GMELIN, 1788) USING HIGH-RESOLUTION ACCURATE MASS SPECTROMETRY

**A. A. Shelepchikov^{1, 2}, A. D. Kudryavtseva¹, E. S. Brodsky¹,
E. Ya. Mir-Kadyrova¹, M. A. Solovyova¹, F. V. Klimov³,
Academician of the RAS V. V. Rozhnov¹**

¹*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*The All-Russian State Center for Quality and Standardization of Veterinary Drugs and Feed, Moscow, Russian Federation*

³*Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan*

e-mail: rozhnov-v-2015@yandex.ru

The possibility of comprehensive characterization of tissue contamination of living organisms by organic pollutants in the course of a single analysis by combining GC and high resolution accurate mass-spectrometry has been demonstrated. Samples of adipose tissue from two Caspian seals (*Pusa caspica* Gmelin, 1788), found dead in 2020 on the shores of the Caspian Sea, were studied. The main pollutants of the Caspian seal are organochlorine pesticides, primarily DDT and HCH, as well as PCBs. The distribution of metabolites indicates the absence of recent pesticide use. The PCB content is relatively high, but, as for pesticides, is at the lower limit of the range of values previously determined. Chlordanes, polychlorinated naphthalenes and polybrominated diphenyl ethers were not detected in quantities that would allow them to be considered the main pollutants of the Caspian seal. Contaminant levels are below levels at which a clear effect on seal health can be expected. High-resolution accurate mass spectrometry has proven to be a convenient tool for performing both target and non-target analysis of a wide range of organic pollutants in one experiment.

Keywords: Caspian seal, *Pusa capsica*, organic pollutants, analytical methods, high-resolution accurate mass-spectrometry